

Технический облик космического радиолокатора с синтезированной апертурой для экологического мониторинга

Ю.А. Палатов¹, Е.В. Егоров¹, А.В. Николаев¹, В.И. Казанцев², В.М. Крехтунов², С.А. Втюрин³, Н.А. Князев³

¹ ФКУ «33 ЦНИИ МО РФ», 105005 Москва, Бригадирский пер., 13\

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005 Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

³ Институт космических исследований РАН, 117997 Москва, Профсоюзная 84/32, ИКИ РАН, E-mail: nknyazev@iki.rssi.ru

Сообщается о возможности создания радиолокатора бокового обзора (РЛ БО) с синтезированной апертурой миллиметрового диапазона длин волн в интересах проведения аэрокосмического мониторинга загрязнений окружающей среды физиологически активными веществами (ФАВ). Описывается структурная схема РЛ БО и конструктивные решения приемопередающего тракта. Структурная схема обеспечивает зондирования атмосферы в двух режимах: активном и пассивном (радиометрическом). Приводятся основные технические характеристики РЛБО.

The possibility of the side-looking radar (RL BW) synthetic aperture millimeter wavelength range in the interests of the aerospace monitoring of environmental pollution of physiologically active substances (PAS) are reported. The block diagram of side-looking radar and constructive solutions to the receiving and transmitting tract are described. The structural configuration provides remote sensing of the atmosphere in two modes: active and passive (radiometer). The basic technical characteristics of side-looking radar are presented.

Введение

Миллиметровый диапазон длин волн 3-4 и 8 мм привлекает внимание специалистов экологического мониторинга тем, что удельная эффективная площадь рассеяния (ЭПР) является максимально возможной для облаков газо-аэрозольных загрязнений атмосферы, а также тем, что данные участки спектра располагаются в окнах прозрачности атмосферы [1]. Это обстоятельство предопределяет интерес к созданию радиолокатора миллиметрового диапазона для решения экологических и прикладных задач аэрокосмического зондирования атмосферы. Такой прибор мог бы обеспечить максимально возможную чувствительность и дальность обнаружения и облаков физиологически активных веществ (ФАВ), опасных для здоровья и жизни человека, решения других задач мониторинга окружающей среды.

В качестве возможного носителя такого радиолокатора предлагалась возможность его размещения на универсальной космической платформе (УКП) "Яхта" [2] в составе комплекса приборов спутникового зондирования Земли. С учетом уже существующих в МГТУ им. Н.Э. Баумана разработок радиолокационных средств был проработан вопрос создания радиолокатора аэрокосмического базирования для наблюдения в диапазоне миллиметровых волн за метеорологическими объектами и постилающей поверхностью Земли, в том числе, и за аэрозольно-газовыми облаками промышленных выбросов от потенциально опасных объектов: АЭС, химических предприятий и т.п.

Структурная схема бортовой аппаратуры и основные ТТХ

Радиолокатор состоит из радиопередающего устройства (СВЧ- генератора), радиоприемного устройства, антенного переключателя, генератора синхроимпульсов, синтезатора частот, сканирующего антенного устройства и бортового компьютера [3]. Тактико-технические характеристики (ТТХ) (таблица 1) и блок-схема радиолокатора (рис. 1) обеспечивают получение текущего значения датчиков углов по азимуту и углу места, точность определения координат: угловых направлений краев аномалий

$\pm 0,3^\circ$, дальности ± 100 м. Суммарный вес радиолокатора не превышает 55 кг, а размеры антенны- 510 мм.

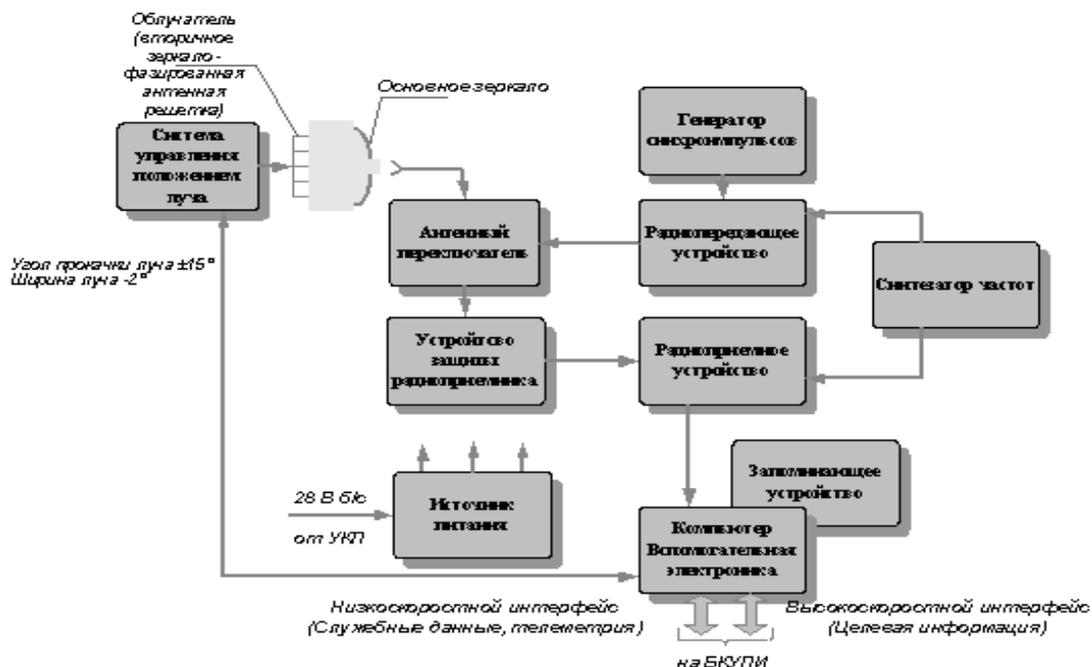


Рис. 1. Структурная схема РЛБО.

Таблица 1. Основные ТТХ радиолокатора.

Параметр	Значение
Высота орбиты	500 км
Полоса обзора	300 км
Рабочая длина волны	3,2 мм
Режим работы	импульсный, возможно пакетно-импульсный
Стабильность частоты	не хуже 10^{-6}
Длительность импульсов	0,1 – 0,5 мкс
Мощность в импульсе	не менее 4- 5 кВт
Средняя мощность	до 10 Вт
Диаметр основного зеркала	до 1,0 м
Полоса пропускания по промежуточной частоте	12,5 МГц
Динамический диапазон приемника	40 дБ
Антенна с синтезированной апертурой	120-160 элементов
Потребляемая мощность	500- 1000 Вт
Полоса пропускания приемника, ПЭ, МГц	10
Предельная чувствительность приемника, $P_{пред}$	120 дБ. Вт
Динамический диапазон приемника с логарифмической характеристикой	70 дБ
Масса аппаратуры	35 кг
Габаритные размеры	450x300x350

Следует остановиться на относительно большой мощности радиолокатора, мощность в импульсе не менее 4- 5 кВт. Компоновка магнетронного импульсного передатчика с полностью твердотельными высоковольтными источником питания и модулятором приведена на рис. 2 и 3.



Рис. 2. Общий вид магнетронного генератора.



Рис. 3. Компоновка высоковольтного источника питания.

Антенна использует зеркало параболического отражателя 3-х мм диапазона. Зеркало имеет диаметр –510 мм и обеспечивает получение следующих характеристик: коэффициент усиления по суммарному каналу: составляет 58дБ, обеспечивая ширину диаграммы направленности ДН равную 0,48 град, уровни боковых лепестков -25 дБ; коэффициент усиления по разностному (азимутальному) каналу 55 дБ, глубина нулевого провала- 28дБ, крутизна пеленгационной характеристики 13 дБ/ угл. мин.

Антенна имеет следующие параметры: Ширина диаграммы направленности по уровню 3дБ - 0,2 град.1

- Фазовращатели- ферритовые, с памятью; количество фазовращателей во фрагменте- 151 шт.
- Дифференциальный фазовый сдвиг 0-360°; Фазовый дискрет- 45°.
- Времяпереключения- 10 мкс.
- Сектор сканирования- $\pm 15^\circ$ от нормали..
- Потери в одном фазовращателе(в отражательном режиме)- не более 3дБ.

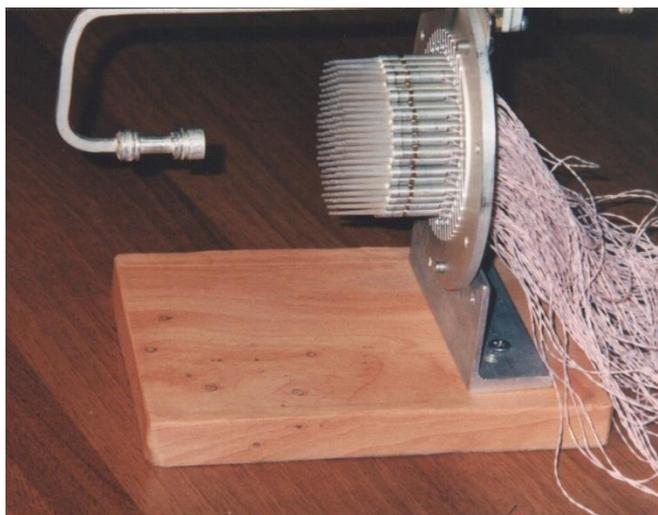


Рис. 4.Фрагмент ФАР.

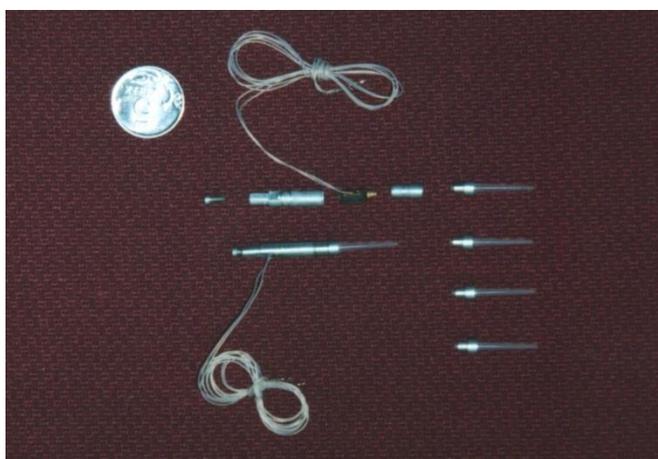


Рис. 5. Фазовращатель ферритовый.

Радиолокационный приемник типовой и представляет когерентный супергетеродин с рабочей длиной волны $\lambda = 3,2\text{мм}$, промежуточной частотой $f = 94 \pm 0,5$ ГГц при коэффициенте шума не более 10дБ. Общая масса приемника не более 5кг, объем до 5дм^3 . Его основные характеристики следующие:

- | | |
|---|--------------|
| • Рабочая частота, ГГц | $94 \pm 0,5$ |
| • Ширина ДН антенны, $\varphi\Delta$, град | 0,46 |
| • Предельная чувствительность приемника, $P_{\text{ПРЕД}}$, дБВт | 120 |
| • Полоса пропускания приемника, ПЭ, МГц | 10 |
| • Динамический диапазон приемника с логарифмической характеристикой | 70 дБ. |

Приемное устройство – двухканальное, представленное на рис. 6., один канал служит для приема отраженных сигналов в динамическом диапазоне 70дБ, а другой используется для устойчивой работы АПЧ второго гетеродина по радиоимпульсу передатчика.

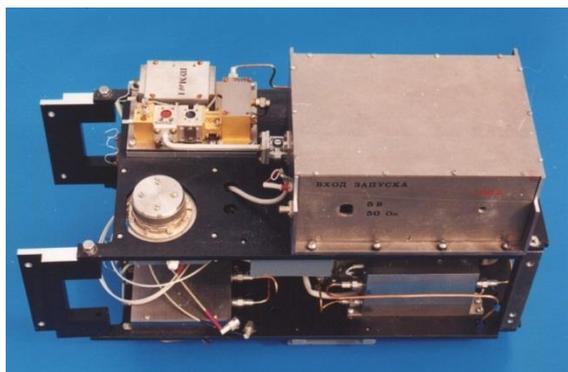


Рис.6. Приемное устройство.

Макетирование сигнального тракта подтвердило возможность изготовления радиолокационного приемника с заданными по ТЗ характеристиками. Для контроля работоспособности приемного устройства совместно с цифровым обнаружителем предлагается использовать тест-генератор, сигнал калибровки с которого подается на вход радиолокационного приемника.

Конструктивные решения

Вся аппаратура РЛБО использует только твердотельные активные приборы (за исключением КВЧ генератора), в том числе и в высоковольтном источнике питания и в импульсном модуляторе. Высоковольтный источник питания выполнен по схеме с преобразованием частоты напряжения первичной питающей сети с помощью резонансного инвертора. Преобразованная частота лежит вблизи 100 кГц, что позволит в несколько раз уменьшить массу и габариты радиопередающего устройства. Степень проработки РЛБО, изготовлены и апробированы отдельные основные узлы, передатчик с блоком питания, приемник с антенной системой.

Заключение

Разработан технический облик радиолокатора бокового обзора РЛ БО для размещения на универсальной космической платформе УКП.

РЛ БО работает в 3-х миллиметровом диапазоне длин волн в импульсном режиме с мощностью передатчика до 4- 5 кВт. В настоящее время разработка существует в качестве лабораторного макета и подлежит технической реализации в качестве целевой аппаратуры аэрокосмического зондирования при наличии соответствующего финансирования.

Литература

1. Кондратенков Г. С., Фролов А. Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы зондирования Земли. - М.: Радиотехника, 2005. – 366 с.
2. ГКНПЦ имени М.В.Хруничева/ Унифицированная космическая платформа «Яхта». <http://www.khrunichev.ru/main.php?id=56>.
3. G. Krieger, N. Gebert, A. Moreira. Multidimensional Waveform Encoding: A New Digital Beamforming Technique for Synthetic Aperture Radar Remote Sensing. /IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 46, No. 1, January 2008.
3. Палатов Ю.А., Антохин А.М., Казанцев В.И., Князев Н.А. Радиолокатор бокового обзора для экологического мониторинга из космоса. // 7-я всероссийская открытая ежегодная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». - Москва: ИКИ РАН, 16-20 ноября 2009 г.